

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 200431003

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

船舶运动建模及虚拟现实技术的实现

Modeling the Ship Motion and Realized  
by Virtual Reality Technology

何 金 花

指导教师姓名: 彭 侠 夫 教 授

专 业 名 称: 控制理论与控制工程

论文提交日期: 2007 年 4 月

论文答辩时间: 2007 年 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2007 年 月

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。  
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在            年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期：        年    月    日

导师签名：

日期：        年    月    日

## 摘要

从古至今，航海业的发展一直是一个国家兴旺发达的重要标志。对于一个 70% 都被海水覆盖的地球而言，海上防御对于一个国家的安全有着极其重要的战略意义。随着贸易全球化速度的加快，船舶作为运输业中极其重要的力量之一也日益引起了人们的关注。因此对船舶的研究也显得更加有意义。

国内外对船舶的研究一直没有停止过。在理论上，船舶运动方程也经历了从质点运动到二维再到三维的变化。目前也已经有了较为系统的理论。在实际工程设计中，目前采用较多的方法是水池试验法。既把船舶按照适当的比例缩小进行相应的试验设计。在实验室研究中还有半物理方法，建立船舶模型结合理论计算来设计船舶。但是这些方法都存在一个问题，实验场所要求较高，研究费用大。

随着计算机仿真技术的发展，虚拟现实技术的出现，并被成功的引入到船舶研究中，实验场所要求高，耗资巨大这一问题可以得到相应的解决。虚拟现实技术，它是由计算机产生，通过视、听、触觉等作用，使用户产生身临其境感觉的交互式视景仿真。目前国外如美国、丹麦等国家已经先后建立了航海仿真实验室，并成功的应用于海员训练。

本文主要从虚拟现实技术角度出发研究船舶在不同海况下的运动。首先用海浪谱分析法对船舶运动进行建模，研究了船舶在一定海况条件下不同的运动状态，并用实例对船舶的横摇运动、纵摇和垂荡运动进行了数值仿真，接着采用 MultiGen 公司的视景仿真软件 Creator 结合 Vega 建立了船舶的模型以及一个较真实的海洋仿真环境，最后在 VC 环境下结合 Vega 的 API 函数编写了船舶运动的视景仿真程序。同时文中还涉及了对虚拟现实技术系统的实现基本原理的讨论。整个系统可以较真实的反映船舶在一定的海况下的运动情况，对船舶运动的进一步研究有着积极的意义。

**关键字：** 船舶运动；虚拟现实；仿真

## Abstract

In all ages, the development of navigation is always a significant symbol for countries' prosperity. Safeguard on sea is most important for countries' safety especially for the earth which nearly 70% are covered by water. With the accelerate of world wide business, ship as one of the most important part have come to our attention. So shipping research is much more significance.

Doing research on ships has never be stopped in home and abroad. Ship motion has go through two -dimension to three-dimension in theory .Nowadays, theories has become maturity .In engineering, pool experiment used very abroad , making the ships scale-down ,then do researches in the big pool.The another approach for research in the laboratory is half physics, models unite theory compute .But all of these methods have a common disadvantage that is too special for laboratory and too high research fee.

As the development of computer simulations, Virtual Reality technology is introduced in ship researches successfully, the question aboved can be solved .Virtual Reality technology can produced visual simulations by computers which can make users a feeling of real .Nowadays ,lots of countries have built the simulation lads for navigation such as America and Denmark .They successfully used the VR technology for seaman's training.

This paper do a research on ship motions supported by Virtual Reality technique. First of all model ship motion in math based on ocean wave spectrum analysis and study on the ship motion in different sea states .Secondly make numerical simulations for ship rolling ,heave and pitch motion . Thirdly ,build the model of ship and the simulation environment by software Creator and Vega .Last,make the process of simulation about ship motion in VC environment.The whole system successfully simulate the ship motion in different sea states .For further research it has an active effect .

**Keywords:** Ship Motion ; Virtual Reality; Simulation

# 目 录

<b>第 1 章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 问题的提出及研究意义 .....	1
1.2 相关技术的国内外发展及现状 .....	2
1.2.1 船舶运动建模的发展及现状 .....	2
1.2.2 虚拟现实技术的国内外现状及发展 .....	4
1.2.3 虚拟现实技术在航海仿真中的应用 .....	6
1.3 本文的主要工作 .....	7
<b>第 2 章 虚拟现实技术研究 .....</b>	<b>8</b>
2.1 虚拟现实的定义及特性 .....	8
2.2 虚拟现实系统的组成及关键性技术 .....	9
2.3 虚拟现实系统硬件配置及常用外部设备 .....	11
2.4 立体视觉现场感的产生机理及图像生成的一般算法 .....	12
2.5 本章小结 .....	14
<b>第 3 章 船舶运动建模及数值仿真的实现 .....</b>	<b>15</b>
3.1 船舶运动的概述 .....	15
3.2 谱分析理论基础 .....	17
3.3 频谱分析法在船舶运动中的应用 .....	23
3.3.1 线形系统理论在船舶运动中的应用 .....	23
3.3.2 频率响应函数 .....	24
3.3.3 船舶摇荡运动的计算 .....	26
3.4 横摇动力系数的确定 .....	29
3.5 船舶横摇运动分析与计算 .....	30
3.6 船舶纵摇和垂荡运动分析 .....	33
3.7 本章小结 .....	37
<b>第 4 章 可视化建模软件 MultiGen Creator 及虚拟场景的实现 .....</b>	<b>38</b>
4.1 可视化建模软件 Creator 介绍 .....	38
4.2 Creator 建模的关键性技术 .....	40

4.3 Creator 中主要技术的算法分析 .....	44
4.4 三维虚拟场景的建模 .....	46
4.4.1 虚拟场景建立步骤 .....	46
4.4.2 船舶的实体建模 .....	47
4.5 海面岛屿的建模 .....	49
4.5.1 三维地形生成的方法 .....	49
4.5.2 地形仿真的关键技术及数据转换算法 .....	50
4.6 本章小结 .....	53
<b>第 5 章 基于 Vega 的船舶运动仿真 .....</b>	<b>54</b>
5.1 Vega 开发工具简介 .....	54
5.2 船舶运动仿真系统在 Vega 中的实现 .....	59
5.2.1 LynX 图形界面中 ADF 文件的基本设置 .....	59
5.2.2 海洋模块建立仿真场景 .....	62
5.3 基于 Windows 系统 VC++ 6.0 的 Vega 船舶运动仿真程序 .....	67
5.3.1 Vega 应用程序的基本框架 .....	68
5.3.2 船舶仿真系统功能模块介绍及实现 .....	71
5.3.3 仿真运行结果 .....	72
5.4 本章小结 .....	75
<b>总结 .....</b>	<b>76</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>78</b>
<b>作者在攻读硕士学位期间发表的论文 .....</b>	<b>82</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>83</b>



厦门大学博硕士论文摘要库

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1 Put the question and purpose of research .....	1
1.2 Status and Foreground of Relative Technology at Home and Abroad...	2
1.2.1 Research and Development of Modeling Ship Motion .....	2
1.2.2 Research and Development of VR technology at Hoem ang Abroad	4
1.2.3 Application of VR in Simulation of the Navigation.....	6
1.3 Contents of this paper .....	7
<b>Chapter 2 Research of VR Technology .....</b>	<b>8</b>
2.1 Definition and Features of VR Technology .....	8
2.2 The Structure and Key Technology of VR System.....	9
2.3 Hardware Configure and genral Peripheral Equipment of VR System..	11
2.4 Mechanism and General Arithmetic of Forming 3D Image.....	12
2.5 Summary of the Chapter .....	14
<b>Chapter 3 Model the Ship motion and Simulate in math.....</b>	<b>15</b>
3.1 Introduction of Ship Motion .....	15
3.2 Basic Theory of Frequency Spectrum Analysis .....	17
3.3 Application of Frequency Spectrum Analysis in Ship Motion.....	23
3.3.1 Application of Line system Theory in Hsip Motion .....	23
3.3.2 The Function of Frequency Response .....	24
3.3.3 Compute of the ship Motion.....	26
3.4 Dynamical Coefficient of roll .....	29
3.5 Analysis and Computing of Ship rolling .....	30
3.6 Analysis of ship heave and pitch motion .....	33
3.7 Summary of the Chapter .....	37
<b>Chapter 4 Visual Modeling Software MultiGen Creator .....</b>	<b>38</b>
4.1 Introduction of Creator .....	38
4.2 key technique of Modeling in Creator .....	40

<b>4.3 Main Arithmetic of Creator .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4 Modeling the 3D virtual environment .....</b>	<b>46</b>
4.4.1 The Approach of the Modeling virtual environment .....	46
4.4.2 Modeling the Ship .....	47
<b>4.5 Modeling the Island in the sea .....</b>	<b>49</b>
4.5.1 Methods of Building the 3Ds Terrian .....	49
4.5.2 Key techique of Terrian Simulation and Conversion Arithmetic	50
<b>4.6 Summary of the Chapter .....</b>	<b>53</b>
<b>Chapter 5 Simulation of Ship Motion based Vega.....</b>	<b>54</b>
<b>5.1 Introduction about Vega .....</b>	<b>54</b>
<b>5.2 Simulation System of Ship Motion in Vega .....</b>	<b>59</b>
5.2.1 Basecial configure in graphcial interface LynX.....	60
5.2.2 Creator Sea Environment in Ocean Module .....	62
<b>5.3 Simulation Programme of Ship Motion in VC ++6.0 Besed on Windows....</b>	<b>67</b>
5.3.1 Structure of Vega Programme .....	68
5.3.2 Fountion Modules of Simulation .....	71
5.3.3 The Result of the Simulation .....	72
<b>5.4 Summary of this Chapter .....</b>	<b>75</b>
<b>Conclution.....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliography.....</b>	<b>78</b>
<b>Published Papers of Author .....</b>	<b>82</b>
<b>Thanks .....</b>	<b>83</b>

厦门大学博硕士论文摘要库

## 第 1 章 绪论

### 1.1 问题的提出及研究意义

随着世界的各大航路的发现，航海事业有了突飞猛进的发展。而海上防御也成了各国的重要任务。孙中山先生就曾经强调过我国军事强大与否不在陆而在海。由此可见海军的发展对我国的整体军事事业有多么的重要。而研究舰船在不同海况下的运动就显得更加的具有战略意义。

与此同时，地球约 70% 的表面被海洋所覆盖，有着巨大的海洋资源。我国有着长达 3 万公里的海岸线，与世界多个国家保持着商业往来，其中绝大部分货物的运输都是靠远洋船舶来实现，远洋船舶是我国与外国物质交流的最主要运输工具。我国有近 20 万的海员队伍，船舶总吨位数位居世界第七，因此研究舰船的仿真系统不仅对军事有着深远的意义对商业也有着及其重要的影响。研究舰船在海上的运动这一课题是极其有意义而必要的。

船舶主要受到海浪的作用，因此研究船舶的性能，特别是船舶在风浪中的性能对提高船舶的整体性能起着关键性的作用。船舶在波浪中运动特性的统称，即船舶的耐波性(Seakeeping)。它包括船舶在波浪中所产生的各种摇荡运动及由这些运动引起的砰击、飞溅、上浪、失速、螺旋桨飞车和波浪弯矩变化等。

研究船舶波浪载荷的方法也经历了一个从二维到三维，从线性到非线性的理论发展。但是这些求解的过程特别是三维求解过程十分的复杂和费时，在实际工程中通常采用理论计算与实验法结合的方法进行研究验证。目前研究船舶运动常用的方法有水池试验法。水池法需要有一个很大的实验室需要人工产生各种风浪。由于实验的模型是按比例缩小的船体，在转换时会产生不可避免的问题。而依托虚拟现实技术而产生的可视化仿真技术为研究船舶的运动提供了一种新的方法。这一船舶仿真系统能够方便的研究船舶的各种运动，同时又让人有身临其境的感觉对研究船舶运动及这些运动引起的各种危害，船员驾驶及培训等各方面都有着积极作用。图形视景仿真系统与以往的仿真系统相比大大减少了人力物力财力的投入，不仅如此，由于其优质的图形界面和生动的场景改

变了以往数值仿真中只有专业人员才能看懂的局面,对知识的通俗化和普及也有着极其重要的意义。

基于以上背景,本文以频谱分析的理论为基础来研究船舶的运动并使用虚拟现实技术来模拟船舶在波浪中的运动,将船舶的数值仿真转换到图像的可视化仿真,使仿真系统更加真实易懂。

## 1.2 相关技术的国内外发展及现状

### 1.2.1 船舶运动建模的发展及现状

1896 年克雷洛夫<sup>[1]</sup>首先提出了船舶在规则波上的运动方程,该方程实际上是质点振动方程。它是初级的原始的,但其深远的意义却不言而喻。随着计算机的出现和发展,为研究提供了强大的计算工具,极大地促进了船舶运动的研究。而船舶的运动其主要就是对其耐波性的研究。

从 20 世纪四十年代起,人们开始致力于船舶摇荡流体力学理论的建立,试图通过速度势的线性边值问题的建立和求解,把船舶的存在和运动对入射波的影响考虑进去,从而更加合理地来描述船舶的摇荡运动。其中,哈斯金特应用格林定理构造出由于船体存在和运动引起的扰动速度势,并推导了点源格林函数的表达式。按边界条件的提法,最终得到求解速度势的积分方程,并用窄船理论进一步解出此方程。

1953 年, St.Denis 和 Pierson<sup>[1]</sup>的一篇创新性的文章中提出了一种预报海上航行船舶的相应数值统计的方法。利用其他领域谱分析的发展,他们将船舶响应的谱密度和输入海洋波谱联系起来。假设 1. 海水表面是一个各态经历的零均值的高斯随机过程;2. 船舶被看作是一个线性系统。第一条假设使得船舶响应的概率密度用一个方差来表示。这个方差是在响应谱密度下的区域。只要知道给定的概率密度,就容易给出所要求的相应数据统计。线性系统的假设使得任一给定的响应密度谱可以通过入射波波谱与所求响应的响应幅值算子(RAO)的平方相乘得出。在其他领域,RAO 又叫作传递函数或线性系统函数。在任何单一的频率下,RAO 是在任一给定频率作用于船舶的规则入射波所要求的响应的振幅和周期。应用 St.Denis 和 Pierson 的方法,必须知道输入波的波谱以及船舶 RAO,因此获得好的波谱信息对船舶响应的准确估计至关重要。

基于这种频谱分析方法,耐波性理论的发展有许多分支。根据自由面条件和物面条

件的阶数不同,可以分为线性和非线性理论;根据流场速度势满足的不同维数,可以分为三维理论和二维理论;根据初始条件的不同,可以分为频域理论和时域理论。在这之后,无论在实验或理论方面,耐波性研究都得到迅速发展。

与此同时,1955年由 Korvin—Krukovsky<sup>[2]</sup>提出了切片细长理论。利用这一理论船舶的升沉和纵摇可以在计算机上进行计算。Gerritsma 和 Beukelman<sup>[3]</sup>于1967年对切片理论进行了改进使其预报值与实验值较好的吻合。此后还有很多学者对此方法进行了改良。其中 Salvesen<sup>[4]</sup>等1970年推导的一种切片法形式是当今应用广泛的船舶耐波性计算方法。理论上说,线性切片理论是一种低航速理论,对于高速船预报来说是不合适的。Blok and Beukelman<sup>[5]</sup>的研究表明,在傅氏数  $Fr$  达到 0.57~1.4 时,线性切片理论预报的船舶垂荡和纵摇响应仍然是令人满意的。

随着船舶运动的非线性效应逐渐引起人们的注意,一些学者沿着实用化的道路对切片理论进行非线性推广。一种时域模型直接由频域切片理论拓展而来,Guedes Soares<sup>[6]</sup>等在这方面做了大量的工作。时域问题的完善解法是通过建立初值、边值问题来解决的。1957年 Finkelstein<sup>[7]</sup>系统的推导了各种自由面时域 Green 函数,为时域计算打下坚实基础。1962年 Cummins<sup>[8]</sup>利用脉冲响应函数理论,将扰动速度势分解为瞬时项和记忆项两部分分别求解,从而将船体的几何形状与船舶运动相分离。1964年 Ogilvie<sup>[9]</sup>总结了上述理论,并将其推广到有航速情形。1998年 Fonseca and Soares<sup>[10]</sup>对基于时域势流理论的局部非线性切片理论模型进行了研究。

切片理论是短波理论,而细长理论是长波理论,因此有人努力寻找两者的联系,从而得到能够在更宽的频率范围应用的理论。Maruo<sup>[11]</sup>的插值法和 Newman<sup>[12]</sup>的统一细长体法就是典型的例子。1987年的 ITTC 会议<sup>[13]</sup>认为统一细长体理论对有一定航速的垂向运动的预报并不比切片法有效,但是对横摇和首摇能够给出更合理的预报。

三维理论可以分为两组:Green 函数法(GFM)和 Rankine 源法(RSM)。Green 函数通过在浮体湿表面分布源汇来确定流场速度势。利用这一方法对于无航速的船舶及海洋工程结构的运动和载荷问题十分成功,但对于有航速的频域计算十分复杂。1990年周正全<sup>[14]</sup>等利用无航速 Green 函数加上航速修正项来研究该问题。同时 Lin and

Yue<sup>[15]</sup>在瞬时物面上分布汇源,建立流体速度势和汇源所满足的积分方程。1995年段文洋<sup>[16]</sup>针对船舶大幅运动情形,探讨了现有非线性理论的适用性和各种非线性因素对水动力的贡献。

Rankine源法由Yeung<sup>[17]</sup>首先提出,我国戴遗山、贺五洲<sup>[18]</sup>做过这方面的研究。Rankine源法的优点是没有不规则频率问题,避免了Green函数计算复杂的困难,但是由于需要自由面上布置源,需要求解的方程组十分庞大。

随着计算机技术的发展,使得各种算法的实现变得可能,也推动了船舶运动理论的发展。非线性振动理论的发展,尤其是近二十年来对分岔和混沌理论的深入研究给船舶非线性运动的研究带来了活力,也使得研究探索船舶摇摆的非线性动力中的复杂响应问题变得更加迫切。

### 1.2.2 虚拟现实技术的国内外现状及发展

虚拟现实(Virtual Reality,缩写为VR,又称为灵境技术)是近年来十分活跃的技术研究领域。它的起源可以追溯到上世纪60年代。1965年,有VR先锋之称的计算机图形学创始人Ivan Sutherland,在IFIP会议上发表了《终极的显示》<sup>[19]</sup>(The Ultimate Display)的论文,首次提出了包括具有交互图形显示、力反馈设备以及声音提示的虚拟现实系统的基本思想,自此人们开始了对这一领域的探索。

美国作为VR技术的发源地,其研究水平基本上就代表国际VR发展的水平。目前美国在该领域的基础研究主要集中在感知,用户界面,后台软件和硬件四个方面。美国宇航局(NASA)<sup>[20]</sup>的Ames实验室研究主要集中在以下方面:将数据手套工程化,使其成为可用性较高的产品;在约翰逊空间中心完成空间站操纵的实时仿真;大量运用了面向座舱的飞行模拟技术;对哈勃太空望远镜的仿真。现在正致力于一个叫虚拟行星探索(VPE)的试验计划。现在NASA已经建立了航空卫星维护VR训练系统,空间站VR训练系统,并且已经建立了可供全国使用的VR教育系统。北卡罗来纳大学(UNC)的计算机系是进行VR研究最早的大学,他们主要研究分子建模、航空驾驶、外科手术仿真<sup>[21]</sup>建筑仿真等。

Loma Linda大学医学中心的David Warner博士和他的研究小组成功地将计算机图



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库